



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: Brüchle, et al.

Serial No.: 10/803,568

For: RADIATION SHIELDING ARRANGEMENT

Filed: March 18, 2004

Examiner: Not yet assigned

Art Unit: 2878

Confirmation No.: 5947

Customer No.: 27,623 Attorney Docket No.: 2133.029USU

Date: June 29, 2004

Mail Stop Missing Parts  
COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Dear Sir:

Applicant is enclosing a Certified Copy of German Patent Application No. 103 12 271.0 filed on march 19, 2003 for filing in the above-identified application.

Applicant also hereby requests that a priority claim under 35 U.S.C. §119 to German Application No. 103 12 271.0 filed on March 19, 2003 be entered in the above-noted application.

Respectfully submitted,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Charles N. J. Ruggiero".

Charles N. J. Ruggiero, Esq.  
Ohlandt, Greeley, Ruggiero & Perle, LLP  
Attorney for Applicants  
Registration No. 28,468  
Telephone: (203) 327-4500  
Telefax: (203) 327-6401

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 12 271.0

Anmeldetag: 19. März 2003

Anmelder/Inhaber: Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH,  
64291 Darmstadt/DE

Bezeichnung: Strahlungsabschirmungsanordnung

IPC: G 21 F, H 05 H

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 4. März 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident

Im Auftrag

Wallner

## Strahlungsabschirmungsanordnung

### Beschreibung

5

Die Erfindung betrifft eine Strahlungsabschirmungsanordnung im Allgemeinen und eine Strahlungsabschirmungsanordnung zur Abschirmung von Neutronenstrahlung und Gammastrahlung von Teilchenbeschleunigern oder -speicherringen, insbesondere für Synchrotronstrahlungsquellen im Speziellen.

Bei der Beschleunigung von Teilchen entsteht biologisch schädliche Strahlung, insbesondere Gammastrahlung, d.h. hochenergetische Photonenstrahlung bzw. elektromagnetische Strahlung. Zur Abschirmung von Gammastrahlung wird bislang typischerweise Beton verwendet.

In den letzten Jahrzehnten hat jedoch die mögliche maximale Energie und Intensität der Teilchen in Teilchenbeschleunigern, insbesondere in solchen, die oberflächennah aufgebaut sind, zugenommen. Hierzu zählen Synchrotronanlagen zur Erzeugung von Synchrotronstrahlung, der neue Freie Elektronen Laser (FEL) TESLA bei DESY in Hamburg und neue Beschleunigeranlagen bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt. Bei zukünftigen Beschleunigern, insbesondere Synchrotrons sind Teilchenenergien im Bereich mehrerer hundert GeV oder sogar größer als 1 TeV zu erwarten.

Bei derartigen Hochenergie-Beschleunigern fällt jedoch nicht nur hochenergetische Photonenstrahlung an, sondern es werden in besonderem Maße auch schnelle Neutronen erzeugt. Letztere können aber sogar bereits bei Teilchenenergien im MeV-Bereich auftreten und sind biologisch besonders wirksam, d.h. schädlich. Z.B. werden bei den vorstehend beschriebenen Synchrotrons mit Teilchenenergien von einigen 100 MeV oder größer 1 TeV eine maßgebliche Zahl von schnellen Neutronen mit Energien im Bereich von 100 MeV erzeugt. Auf der anderen Seite ist Beton zur Abschirmung von schnellen Neutronen aber wenig geeignet.

Daher besteht, insbesondere für derartige Beschleuniger und Speicherringe, aber auch für Targeteinrichtungen sowie Experimentier- und Analyseeinrichtungen ein Bedarf an effektiven Strahlungsabschirmungen, welche auch schnelle Neutronen, insbesondere im MeV- oder sogar GeV-Bereich wirksam abschirmen, was im Vergleich zu elektromagnetischer Strahlung und zu thermalisierten oder zumindest relativ langsamen Neutronen im Bereich einiger Elektronenvolt (eV) eine völlig neue Anforderung darstellt. Gerade die Kombination einer wirksamen Abschirmung gegen elektromagnetische Strahlung und gleichzeitig gegen schnelle Neutronen erweist sich in der Praxis als schwierig.

Ein weiteres Problem resultiert aus der Aktivierung, insbesondere auch durch die schnellen Neutronen, welche zum Teil zu langlebigen Radionukliden führt. Dies macht den Abbau und die Entsorgung des Abschirmungsmaterials höchst problematisch. Auch diesbezüglich besteht ein Bedarf an einer vorteilhaften Alternative zu Beton.

Ferner ist die oben genannte Entwicklung hin zu höheren Energien naturgemäß mit einer wesentlichen Vergrößerung der Anlagen verbunden. So besitzt z.B. HERA einen Umfang von 6,3 km, so dass Kosteneinsparungen von besonderem Interesse sind.

Daher ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Strahlungsabschirmungsanordnung bereit zu stellen, welche sowohl Gammastrahlung als auch schnelle Neutronen wirksam

abschirmt und kostengünstig in großem Maßstab herstellbar ist.

Noch eine Aufgabe der Erfindung ist es, eine Strahlungsabschirmungsanordnung bereit zu stellen, welche auch bei hohen Gamma- und Neutronenenergien eine geringe Aktivierung aufweist.

Eine weitere Aufgabe ist es, eine Strahlungsabschirmungsanordnung bereit zu stellen, welche die Nachteile des Standes der Technik meidet oder zumindest mindert.

Die Aufgabe der Erfindung wird in überraschend einfacher Weise bereits durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Vorteilhafter Weise enthält die erfindungsgemäße Strahlungsabschirmungsanordnung ein Abschirmungselement aus wasserhaltigem Material, z.B. mit chemisch gebundenem Wasser, insbesondere Kristallwasser. Vorzugsweise beträgt der Wasseranteil des Materials zumindest 5, 10 oder 20 Gewichtsprozent. Die darin enthaltenen Wasserstoffkerne, respektive Protonen moderieren Neutronen aufgrund der fast

identischen Masse und des damit verbundenen maximalen Impulsübertrags nahezu ideal.

Bevorzugt besteht das Abschirmungselement zumindest zu 75,

5 Gewichtsprozent, zumindest zu 90 Gewichtsprozent oder im wesentlichen vollständig aus Gips. Die Verwendung von Gips, insbesondere einer Gipswand im wesentlichen bestehend aus abgebundenem oder ausgehärteten Gips, chemisch  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , hat sich als besonders geeignet erwiesen, da das Calcium

10 aufgrund seiner Kernladung von 20 relativ wirksam

Gammastrahlung absorbiert. Das gebundene Kristallwasser mit einem Gewichtsanteil von etwa 20 bezüglich des Gesamtgewichts des Gipses stellt wiederum die Protonen zur Verfügung.

15 Im Gegensatz zu Normalbeton, der neben kleineren Mengen

Calcium, Aluminium, Eisen oder erheblich teurerem Barium bei Schwerbeton, als Hauptbestandteil Silicium mit der

Ordnungszahl 14 enthält, schirmt Calcium mit der Ordnungszahl 20 Gammastrahlung sogar besser ab. Dies gleicht den Dichte-

20 Unterschied zwischen Gips ( $2,1 \text{ g/cm}^3$ ) und Normalbeton (2 bis  $2,8 \text{ g/cm}^3$ ) zumindest wieder aus. Damit ist Gips bei gleicher Abschirmwirkung für Gammastrahlung vorteilhafter Weise leichter als Beton.

25 Die Dicke des Abschirmungselements ist insbesondere an die

Strahlungsspektren eines Hochenergieteilchenbeschleunigers und/oder Hochenergieteilchenspeicherrings für Elektronen,

Positronen oder Ionen, z.B. eines Synchrotrons, insbesondere bei Teilchenenergien von größer als 10 GeV oder größer als 30

30 GeV angepasst.

In Bezug auf die Abschirmung von Neutronen ist es weiter vorteilhaft, eine Neutronenabsorberschicht aus einem Material

vorzusehen, welches die moderierten Neutronen absorbiert. Hierzu haben sich insbesondere Bor, Bor-Parafin, Cadmium und/oder Gadolinium bewährt.

- 5 Eine mehrschichtige Anordnung, insbesondere das Anbringen einer separaten Neutronenabsorberschicht auf der Gipswand ist diesbezüglich besonders vorteilhaft, da die Stabilität des Gipses erhalten bleibt. Vorzugsweise muss also bei dieser Ausführungsform kein Bor oder anderes neutronenabsorbierendes Material in den Gips eingemischt werden.

Alternativ oder ergänzend kann die Anordnung modular, z.B. blockweise ausgebildet sein.

- 15 Dennoch kann es weiter vorteilhaft sein, ein- oder zweiseitig Tragschichten oder Verschalungen, z.B. aus Beton vorzusehen, welche einen Doppelnutzen, nämlich eine Stabilisierung und eine zusätzliche Abschirmung gegen Gammastrahlung bewirken. Je nach gewünschter Höhe können die Verschalungen aus Beton 20 die nötige Stabilität erbringen, so dass Strahlungsabschirmungsanordnungen verwendet werden können, deren Gipswand alleine nicht selbsttragend wäre, jedoch in Verbindung mit der Verschalung dann selbsttragend sind, d.h. die Strahlungsabschirmungsanordnung aufgrund der Tragschicht 25 oder Tragschichten selbsttragende Stabilitätseigenschaften aufweist. Die Dicke der Tragschicht wird insbesondere danach bemessen sein.

- Bevorzugt ist noch eine Neutronenabsorberschicht, welche ein 30 neutronenabsorbierendes Material enthält, vorgesehen. Diese ist auf der beschleunigerabgewandten Seite, insbesondere unmittelbar an dem Abschirmungselement angebracht. Die Neutronenabsorberschicht, enthält z.B. Bor, Bor-haltiges Glas

oder Bor-Parafin.

Ferner ist die Neutronenabsorberschicht bevorzugt innerhalb der Verschalung und/oder zwischen der Verschalung und der 5 Wand aus Gips angeordnet.

Gemäß einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung enthält die Verschalung, insbesondere die Betonverschalung, selbst ein neutronenabsorbierendes Material, z.B. ein Bor-haltiges Material. Es kann z.B. Borsäure oder Borkarbid dem 10 Verschalungsmaterial, z.B. dem Beton beigemischt werden. Als noch vorteilhafter hat sich jedoch erwiesen, wenn die Verschalung Bor-haltiges Glas aufweist. Dieses ist deutlich 15 kostengünstiger als Borkarbid und erhält, auch wenn es eingemischt wird, die Stabilität des Betons besser als Borsäure. Bor-haltiges Glas kann insbesondere anstatt von oder zusätzlich zu üblicherweise verwendeten Zusätzen wie z.B. Kies zugesetzt werden. Alternativ oder ergänzend kann auch das Material des Abschirmungselementes, insbesondere der 20 Gips, Bor-haltiges Glas enthalten.

Besonders bevorzugt ist die Verwendung von Gips aus Rauchgas-Entschwefelungsanlagen (sogenannter REA-Gips). Dieser wird zu Millionen Tonnen teuer auf Halden deponiert. Jährlich fallen 25 in Deutschland über 3 Millionen Tonnen REA-Gips an. Daher sind die Stromanbieter unter Umständen sogar dankbar, wenn sie das Material abgeben können.

Der Vorteil der Verwendung von REA-Gips ist erstaunlicher 30 Weise sogar vielschichtig.

Erstens wird ein Material verwendet, dessen physikalische Abschirmungswirkung besser ist als von Beton.

Zweitens ist der REA-Gips chemisch sehr rein, wodurch vermindert langlebige strahlende Aktivitäten aus Elementen mit hoher Ordnungszahl erzeugt werden. Daher ist REA-Gips 5 auch unter dem Gesichtspunkt der Aktivierung geeigneter als Beton.

Drittens müssen die Stromerzeuger den Gips, der als Abfall bei Rauchgas-Entschwefelung anfällt, nicht mehr teuer 10 deponieren. Selbst der Transport ist zur Zeit noch subventioniert, da auch die Deutsche Bahn Gips entsorgt.

Die Erfinder haben ferner heraus gefunden, dass zur Abschirmung kommender Generationen von 15 Hochenergieteilchenbeschleunigern und/oder Hochenergieteilchenspeicherringen, welche Teilchenenergien in der Größenordnung von 100 GeV bis 1 TeV oder darüber liegen können, Abschirmungselemente oder Gipswände von etwa 1 m bis 10 m, bevorzugt 2 m bis 8 m, besonders bevorzugt 4 m bis 7 m 20 Dicke erforderlich sein werden. Die Gipsmenge dürfte je nach Beschleuniger also mindestens 100 000 Tonnen oder sogar ein Vielfaches davon betragen.

Die erfindungsgemäße Strahlungsabschirmungsanordnung ist also 25 insbesondere bezüglich der Abschirmwirkung bzw. der Dicke des Abschirmungselements hergerichtet zur Abschirmung von Neutronenstrahlung und Gammastrahlung von Hochenergieteilchenbeschleunigern, -speicherringen, Target-, Experimentier- und/oder Analyseeinrichtungen, insbesondere 30 bei Teilchenenergien größer als 1 GeV oder sogar größer als 10 GeV.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von

Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

#### Kurzbeschreibung der Figuren

5

Es zeigen

Figur 1: Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulationsrechnung  
und

Figur 2: einen schematischen Querschnitt durch eine  
10 beispielhafte Ausführungsform einer  
erfindungsgemäßen Strahlungsabschirmungsanordnung.

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

15

Es wurde eine Simulationsrechnung bezüglich der Strahlung durchgeführt, welche entsteht, wenn 30 GeV Protonen auf ein 10 cm dickes Eisen-Target geschossen werden. Dies entspricht etwa den Bedingungen, die bei den Hochenergiebeschleunigern herrschen, für welche die Erfindung eingesetzt werden soll. Hierbei entsteht ein maßgeblicher Anteil an schnellen Neutronen mit Energien im Bereich bis zu einigen GeV.

25

Figur 1 zeigt die Simulationsergebnisse der durchdringenden Dosis oder Reststrahlungsdosis durch ein Abschirmungselement oder eine Abschirmungswand in Pico-Sievert (pSv) je Proton als Funktion der Abschirm- oder Wanddicke in Zentimetern (cm).

30

Die Ergebnisse sind aufgeschlüsselt nach Neutronendosis und Dosis der elektromagnetischen Strahlung (Gammadosis) sowie der Gesamtdosis jeweils für Gips und Beton.

Hierbei repräsentieren:

- Die Kurve 1 die Gesamtdosis für Beton,
- die Kurve 2 die Gesamtdosis für Gips,
- die Kurve 3 die Gammadosis für Beton,
- 5 - die Kurve 4 die Gammadosis für Gips,
- die Kurve 5 die Neutronendosis für Beton und
- die Kurve 6 die Neutronendosis für Gips.

Es ist zu sehen, dass insbesondere die Neutronendosis im Maximum für Gips um mehr als einen Faktor 2 geringer, d.h. die Abschirmwirkung um mehr als einen Faktor zwei höher ist als für Beton und die Abschirmung bezüglich der Gesamtdosis ist bei Gips dort etwa 20 % bis 25 % besser als bei Beton.

15 Das Maximum der Kurven repräsentiert das Sekundärstrahlungsgleichgewicht, ab welchem ein Abschwächungseffekt eintritt. Die Sekundärstrahlungsgleichgewichtsdicke liegt etwa zwischen 60 cm und 70 cm.

20 Diese erheblich höhere Abschirmwirkung der Neutronendosis von Gips in Vergleich zu Beton bei den durch solche Hochenergieteilchenbeschleuniger erzeugten hohen Neutronenenergien war auch für Fachleute auf dem Gebiet der Beschleunigertechnik durchaus überraschend.

Aus den Berechnungen ergibt sich, dass bei einer Gesamtanzahl von  $10^{12}$  Protonen und bereits einer Wanddicke von 4 m eine Gesamtdosis von lediglich noch etwa 25 Micro-Sievert ( $\mu\text{Sv}$ ) die Wand durchdringt.

30 Im folgenden werden die Vorteile hinsichtlich der Aktivierung

von Gips gegenüber Beton aufgezeigt.

Tabelle 1 zeigt Werte für die Erzeugung von Radioaktivität bei einem 30-jährigen Strahlbetrieb und einer darauffolgenden Abklingzeit von 5 Jahren für Beton und Gips.

Es werden hauptsächlich die in der Tabelle 1 genannten Radionuklide erzeugt, nämlich H-3, Na-22, Mn-54 und Fe-55. Die Werte für die Aktivität sind auf die Gesamtaktivität von Gips normiert.

Hierbei sind:

- $C_i$ : die spezifische Aktivität in Becquerel pro Gramm [Bq/g] und
- $C_i/R_i$ : das Verhältnis aus der freizugebenden spezifischen Aktivität und dem jeweiligen Freigabewert nach dem zum Anmeldezeitpunkt in Deutschland geltenden Strahlenschutzrecht.

Tabelle 1:

<b>Nuklid</b>	<b><math>C_i</math></b>		<b><math>C_i/R_i</math></b>	
	<b>Beton</b>	<b>Gips</b>	<b>Beton</b>	<b>Gips</b>
<b>H-3</b>	1,01E+00	9,74E-01	6,05E-02	5,86E-02
<b>Na-22</b>	1,20E-01	2,61E-02	4,34E+00	9,41E-01
<b>Mn-54</b>	1,03E-03	0,00E+00	1,24E-02	0,00E+00
<b>Fe-55</b>	7,63E-02	0,00E+00	1,38E-03	0,00E+00
<b>Summe</b>	1,20E+00	1,00E+00	4,41E+00	1,00E+00

Es ist ersichtlich, dass in Gips eine um einen Faktor von etwa 1,2 geringere Radioaktivität erzeugt wird. Ferner ist die Art der erzeugten Radioaktivität, d.h. die Verteilung der erzeugten Radionuklide bei Gips vorteilhafter als bei Beton,

wenn man die Freigabewerte nach dem derzeitigen Strahlenschutzrecht als Maßstab nimmt (Faktor 4,41). Hieraus ergibt sich, dass die Kosten für eine spätere Entsorgung nach Beendigung der Nutzung der erfindungsgemäßen 5 Strahlungsabschirmungsanordnung geringer sein werden als bei herkömmlichen Abschirmungen.

Figur 2 zeigt eine mehrschichtige Strahlungsabschirmungsanordnung 10 mit einer, der Strahlungsquelle bzw. dem Teilchenstrahl 20 zugewandten ersten Schicht oder Spallationsschicht 11 bestehend aus oder enthaltend ein Metall, insbesondere mit einer Kernmasse > 50 atomare Masseneinheiten (amu), z.B. Eisen. Unmittelbar anschließend an die Spallationsschicht 11 ist ein erstes 10 Abschirmungselement, eine Wand oder eine erste Abschirmungsschicht 12 bestehend aus oder enthaltend ein Material zur Abbremsung von Neutronen, z.B. Gips und/oder Beton angeordnet. Unmittelbar anschließend an das erste Abschirmungselement 12 ist eine Neutronenabsorberschicht 13 15 bestehend aus oder enthaltend ein Material, welches zur Absorption von thermalisierten Neutronen geeignet ist, z.B. Bor, Cadmium oder Gadolinium. Wiederum unmittelbar anschließend an die Neutronenabsorberschicht 13 ist eine zweite Abschirmungsschicht 14, welche von geringerer Dicke 20 als die Wand 12 ist, bestehend aus oder enthaltend ein Material zur Abbremsung von Neutronen, z.B. Gips und/oder Beton angeordnet. 25

Das Eisen bewirkt, induziert durch die schnellen bzw. 30 hochenergetischen Neutronen 21, unter anderem Spallationsreaktionen, welche wiederum Neutronen 22 mit geringerer Energie freisetzen. Dadurch wird eine indirekte erste Moderation erzielt.

Danach werden die Spallationsneutronen 22 weiter in der Wand  
12 abgebremst, um dann schließlich von den Atomkernen der  
Neutronenabsorberschicht 13 eingefangen und absorbiert zu  
werden.

10

Das Material für die Spallationsschicht 11 kann auch aus der  
Entsorgung von Materialien aus kerntechnischen Anlagen  
kommen, wo schwach aktivierte Metalle in größeren Mengen  
anfallen.

15

Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die Erfindung nicht auf  
die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt  
ist und dass die Erfindung in vielfältiger Weise variiert  
werden kann ohne den Geist der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche:

1. Strahlungsabschirmungsanordnung, insbesondere zur  
5 Abschirmung von Neutronenstrahlung und/oder  
Gammastrahlung von Teilchenbeschleunigern,  
-speicherringen, Target-, Experimentier- oder  
Analyseeinrichtungen, umfassend  
zumindest ein Abschirmungselement aus einem ersten  
10 Material, welches gebundenes Wasser enthält.
2. Strahlungsabschirmungsanordnung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das erste Material Gips, insbesondere in abgebundenem  
15 Zustand in der chemischen Zusammensetzung  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
enthält.
3. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der  
vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
20 das Abschirmungselement eine Wand aus Gips umfasst.
4. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der  
vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
die Wand aus Gips eine Dicke aufweist, welche an die  
25 Strahlungsspektren eines  
Hochenergieteilchenbeschleunigers und/oder  
Hochenergieteilchenspeicherrings für Elektronen,  
Positronen oder Ionen angepasst ist.
- 30 5. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der  
vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
die Wand eine Dicke, welche größer oder gleich der  
Sekundärstrahlungsgleichgewichtsdicke ist, insbesondere

eine Dicke von zumindest 2 m, zumindest 5 m oder zumindest 7 m aufweist.

6. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen mehrschichtigen Aufbau.

7. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen modularen Aufbau.

8. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Tragschicht, welche an einer ersten Seite des Abschirmungselements angeordnet ist und die Tragschicht wenigstens eine Mindestdicke aufweist, welche derart bemessen ist, dass die Strahlungsabschirmungsanordnung, insbesondere die Anordnung aus Abschirmungselement und Tragschicht selbsttragend ist.

9. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Tragschicht eine Verschalung aus Beton umfasst.

10. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Abschirmungselement mit einer beidseitigen Verschalung, insbesondere aus Beton versehen ist.

11. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Neutronenabsorberschicht, welche ein neutronenabsorbierendes Material enthält.

12. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Neutronenabsorberschicht, welche Bor, Cadmium und/oder Gadolinium enthält.  
5
13. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Neutronenabsorberschicht, welche Bor-Parafin enthält.  
10
14. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Neutronenabsorberschicht innerhalb der Verschalung und/oder zwischen der Verschalung und der Wand aus Gips angeordnet ist.  
15
15. Strahlungsabschirmungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Tragschicht ein neutronenabsorbierendes Material umfasst.  
20
16. Strahlungsabschirmungsanordnung, insbesondere zur Abschirmung von Neutronenstrahlung und/oder Gammastrahlung von Teilchenbeschleunigern, -speicherringen, Target-, Experimentier- oder Analyseeinrichtungen, und insbesondere nach einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend  
25 zumindest eine Spallationsschicht umfassend ein Material, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass mittels Neutronenbestrahlung Spallationsreaktionen ausgelöst werden, insbesondere ein Metall.  
30

17. Verwendung von Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen zur Herstellung einer Strahlungsabschirmungsanordnung, insbesondere zur Abschirmung von Neutronenstrahlung und/oder Gammastrahlung von

5 Hochenergieteilchenbeschleunigern, -speicherringen, Target-, Experimentier- oder Analyseeinrichtungen, und insbesondere nach einem der vorstehenden Ansprüche.

10 18. Verwendung eines Abschirmungselementes, welches Gips enthält, insbesondere nach einem der vorstehenden Ansprüche, zur Abschirmung von Strahlung eines Teilchenbeschleunigers, -speicherringes, einer Target-, Experimentier- oder Analyseeinrichtung.

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Strahlungsabschirmungsanordnung zur Abschirmung von hochenergetischer Neutronenstrahlung und  
5 Gammastrahlung von Hochenergieteilchenbeschleunigern oder -speicherringen.

Die erfindungsgemäße Strahlungsabschirmungsanordnung enthält ein Abschirmungselement aus wasserhaltigem Material, z.B. mit  
10 chemisch gebundenem Wasser oder Kristallwasser, insbesondere Gips. Vorzugsweise beträgt der Wasseranteil des Materials zumindest 5, 10 oder 20 Gewichtsprozent. Die darin  
enthaltenen Wasserstoffkerne, respektive Protonen moderieren Neutronen aufgrund der fast identischen Masse und des damit  
15 verbundenen maximalen Impulsübertrags nahezu ideal.

Fig. 1

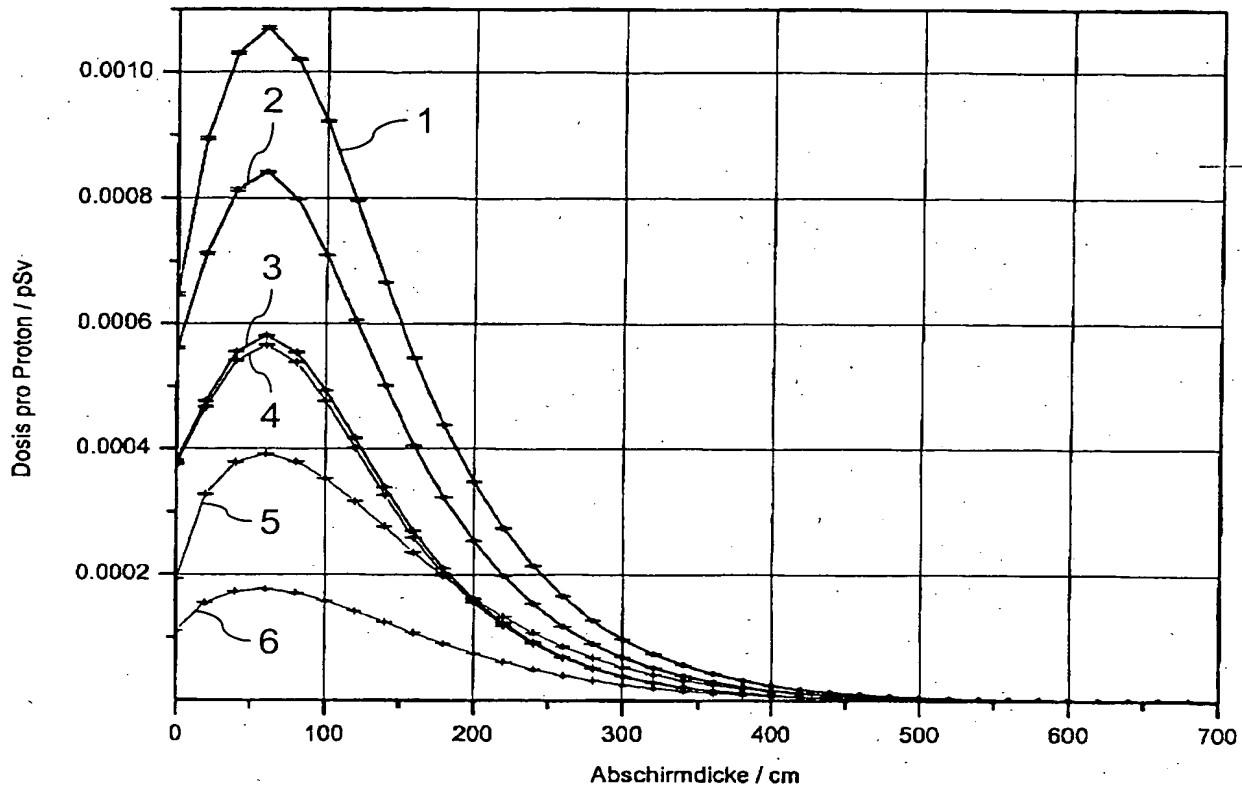


Fig. 2

